

冷连轧生产过程同步数据的建立与应用

陈树宗¹, 张欣², 孙杰¹, 张殿华¹

(1. 东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室, 辽宁 沈阳 110819;

2. 东北大学秦皇岛分校 资源与材料学院, 河北 秦皇岛 066004)

摘 要: 针对冷连轧生产过程中现有的数据采集与分析系统的不足, 结合某 1450 mm 五机架冷连轧机组仪表配置, 提出了一种冷连轧机带钢段同步数据的建立方法. 该方法主要包括快照数据建立和同步数据构建两个过程, 可以将带钢轧制过程中实时采集的实测轧制参数映射到成品钢卷的长度上, 通过同步数据可以查看每卷带钢在任意长度上的轧制数据. 本文所提出的带钢段同步数据的建立方法已投入到某 1450 mm 冷连轧机组生产中, 自投入运行后控制系统运行稳定, 为快速诊断生产故障、分析成品钢卷质量提供了有力的手段.

关 键 词: 冷连轧; 数据采集; 过程控制; 快照数据; 同步数据

中图分类号: TG 335. 56 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2017)02-0239-05

Building and Application of Synchronized Data in Tandem Cold Rolling Process

CHEN Shu-zong¹, ZHANG Xin², SUN Jie¹, ZHANG Dian-hua¹

(1. State Key Laboratory of Rolling and Automation, Northeastern University, Shenyang 110819, China;

2. School of Resources and Materials, Northeastern University at Qinhuangdao, Qinhuangdao 066004, China.

Corresponding author: CHEN Shu-zong, E-mail: chenshuzong10@163.com)

Abstract: In view of the shortcomings of existing data collection and analysis system in the production process of tandem cold mill, a synchronization method of strip segment data for tandem cold mill was proposed based on the mill equipment and instrument configuration of a 1450 mm five-stand tandem cold mill, which consists of two parts: photo data building and synchronized data building. With this method, the various measurement parameters of rolling process can be synchronized to the rolled length at the last stand, and the rolling parameters of any coil length can be monitored through synchronized segment data. The method of synchronizing the strip segment data has been applied successfully in a five-stand tandem cold mill, and the control system runs steadily after putting into operation. The method of synchronizing segment data offers a convenient way for the technicians, who can diagnose production fault and analyze products quality rapidly.

Key words: tandem cold mill; data collection; process control; photo data; synchronized data

现代冷连轧生产线具有轧制速度快、精度要求高、连续化生产等特点, 在轧制过程中, 通过冷连轧机组上安装的传感器、检测仪表, 可以获得大量的实际轧制参数, 如轧制力、带钢张力、辊缝、轧制速度、带钢厚度和板形等实际测量值. 为充分利用采集的轧制信息, 实现对冷连轧机的状态监视、故障诊断和质量分析, 一套完善的数据采集与分

析系统是必需的^[1-3].

目前, 冷连轧机组普遍采用 PDA (process data acquisition) 系统实现高速数据的采集、实时显示与数据存储, 该系统数据采样周期短, 并具备数据的时域、频域等离线分析功能, 许多学者对其进行了研究^[4-6]. 目前 PDA 系统采集和储存的数据均为快照式数据, 即数据是按照设置的采样周

期或采样长度进行实时采集,获得的数据为同一时刻各个检测仪表所测量的数据,因此传统系统采集的数据为时间维度上的轧制过程数据^[7-8].然而,由于冷连轧机组的检测仪表布置在不同位置,实时采集的数据不能直接反映出带钢段在轧制过程中的状况,例如成品钢卷的某一带钢段出现质量缺陷时,系统不能直观地显示该带钢缺陷在经过各个机架或检测仪表时的轧制状态,也不能快速分析出该段带钢的缺陷是由哪个机架或设备动作造成的.

针对传统数据采集与分析系统的不足,本文设计和实现了一种冷连轧机组轧制过程带钢段同步数据的构建方法,可将轧制过程中实时采集的数据(即快照数据),经过数据检索、提取和整合后映射为带钢长度维度上的数据(即同步数据).现场应用表明,通过建立的带钢段同步数据,可直接查看成品钢卷轧制长度方向上各带钢段在经过

各个机架和不同位置检测仪表时的轧制参数,为冷连轧生产线的故障诊断和质量分析提供了有力支持.

1 冷连轧典型仪表配置及数据分类

1.1 典型仪表配置

图 1 为某 1450 mm 五机架冷连轧机组仪表配置示意图,该轧机配置 4 套 X 射线测厚仪,分别安装于 1 机架前后和 5 机架后(一用一备),用以检测带钢厚度;2 机架前后和 5 机架前后各配置一台激光测速仪,用以检测带钢速度;轧机的人、出口以及机架间均配置张力计,用以检测带钢张力;第 5 机架后配置一台板形仪,用以检测带钢板形.此外,各机架还配置了压力传感器、位移传感器及编码器等仪表以测量轧制力、辊缝值和轧辊速度等工艺参数.

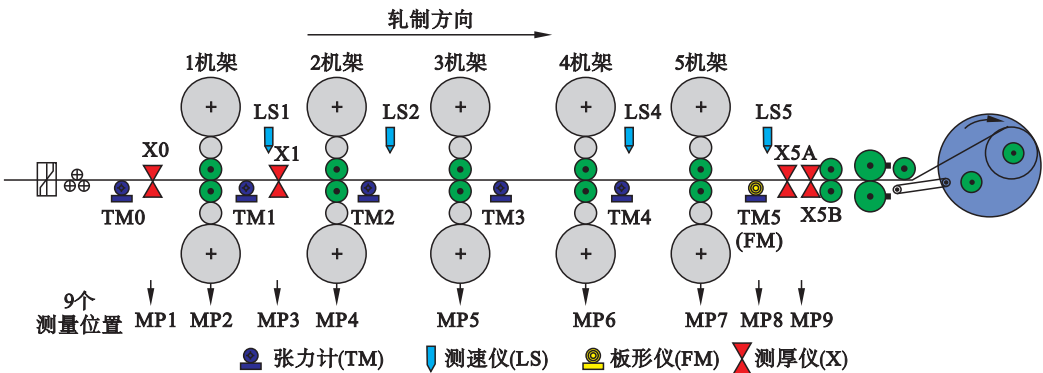


图 1 某 1450 mm 冷连轧机组仪表配置示意图
Fig. 1 Layout of 1450 mm tandem cold mill and sensors

如图 1 所示,由于各检测仪表布置在轧线的不同位置,因此实时采集的数据分别为带钢不同位置上的实测值.以第 1 机架入口测厚仪 X0 为例,当该测厚仪检测到某段带钢的来料厚度发生波动时,随着轧制的进行,各机架轧制力、机架间的张力等轧制参数都会发生变化,最终由轧机出口处测厚仪和板形仪可测得该段带钢的成品厚度和板形,由于实时采集的快照数据并不对应于同一段带钢,通过实时数据无法直接分析出该段带钢的厚度波动对厚度、板形等产品质量及轧制过程所产生的影响.

1.2 实际测量数据分类

按照图 1 所述的检测仪表和设备位置将实际测量值分为 9 类,分别对应轧制生产线上的测量位置 MP1 ~ MP9:1 机架入口测厚仪数据、1 机架出口测厚仪数据、1 ~ 5 机架的测量数据、5 机架出口测厚仪数据以及 5 机架出口板形仪测量数据.

2 带钢段同步数据建立的原理及实现

2.1 带钢段同步数据建立的原理

冷连轧带钢段同步数据的建立主要包括快照数据采集和同步数据构建两个过程,如图 2 所示.

2.1.1 带钢段快照数据

在轧制过程中,轧制速度是变化的,而系统的采样周期是固定不变的,这样两相邻采样点对应的带钢长度不能确保相等^[9-10].由于本文所设计的带钢段同步数据所揭示的是带钢长度方向上轧制参数的变化规律,因此首先需要将定时数据采集变为定长数据采集,即带钢段快照数据.

2.1.2 带钢段同步数据

通过分析可知,上述定长采样所获得的带钢段快照数据记录的为同一时间内不同测量位置的

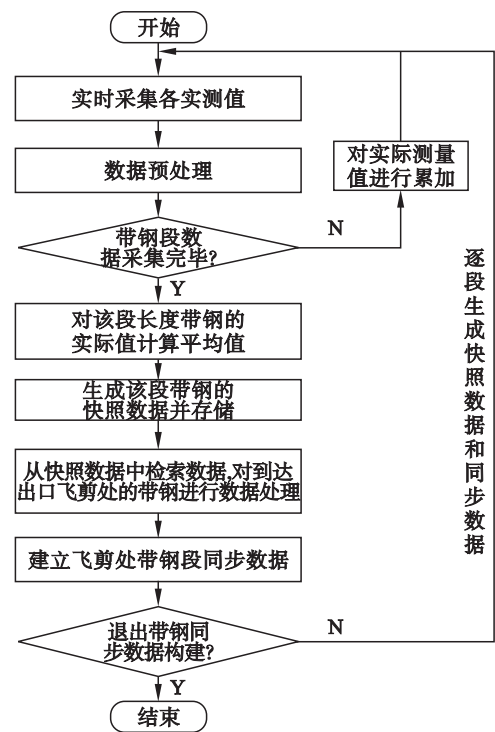


图 2 同步数据的构建流程

Fig. 2 Flow chart of synchronous data building

轧制数据. 而同步数据包含的是带钢段在经过生产线不同仪表和设备时的测量数据, 是通过将离散的快照数据根据轧制长度进行映射生成的, 其描述的为带钢轧制长度方向上的轧制过程信息.

2.2 带钢段快照数据的建立

如图 3 所示的数据快照采集过程示意图, 随着轧制过程的进行, 实际带钢段 i 从第 1 机架入口测厚仪处开始, 依次经过了 MP1 ~ MP9 共 9 个检测仪表和设备, 最后到达末机架出口飞剪处, 在该轧制时间内共生成了 $(n + 3)$ 个快照数据数组 $photo[i - n] \sim photo[i + 2]$.

由图 3 可以看出, 带钢段快照数据中记录的是某一时间内不同位置的带钢段经过各检测仪表和设备时的平均数据, 如图中的快照段数据 $photo[i - n]$ 中记录了实际带钢段 i 的入口厚度数据、实际带钢段 $(i - n)$ 的 5 机架轧制数据、实际带钢段 $(i - n - 1)$ 的板形数据及实际带钢段 $(i - n - 2)$ 的成品厚度数据等.

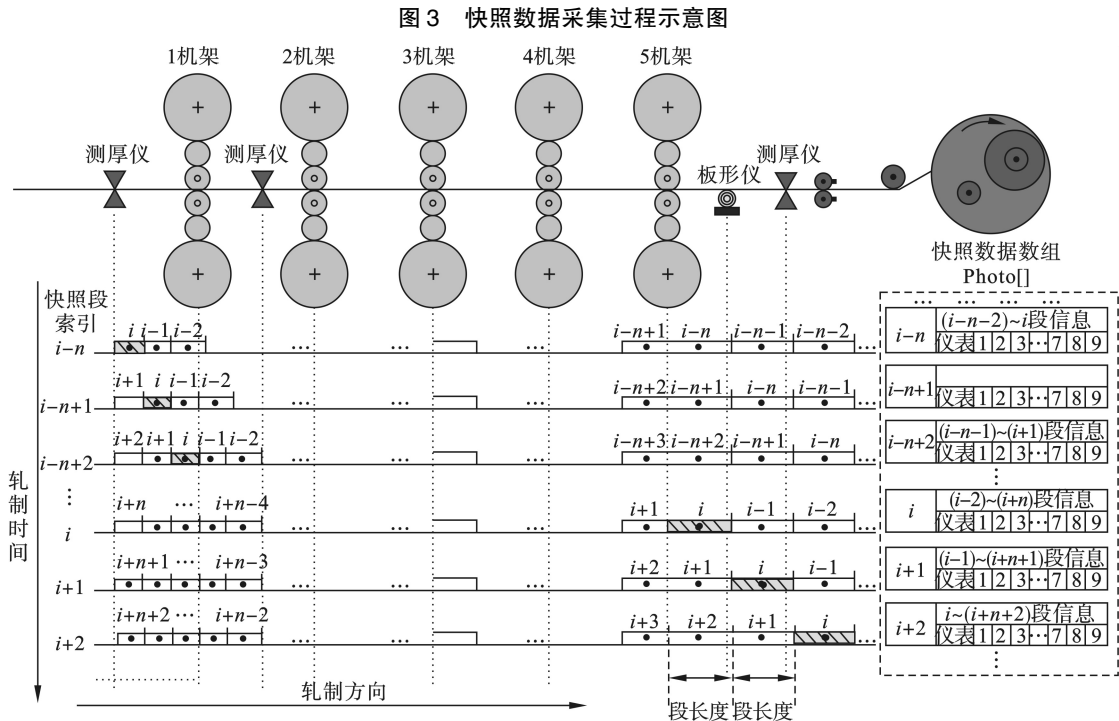


Fig. 3 Schematic diagram of photo data collection

2.3 带钢段同步数据的建立

带钢段同步数据的建立过程实质上就是对快照数据的检索、信息整合过程. 以图 3 中的带钢段 i 为例说明带钢段同步数据的建立过程.

如图 3 所示, 带钢段 i 的整个轧制过程数据保存在快照数据数组 $photo[i - n] \sim photo[i + 2]$

中, 因此在构建带钢段 i 经过不同仪表或设备的同步数据时, 需要从快照数据数组 $photo[i - n] \sim photo[i + 2]$ 中提取不同的数据信息, 其示意图如图 4 所示.

在建立带钢段同步数据的过程中, 以末机架轧制长度作为参考位置. 由于各机架和检测仪表

的布置位置不同,在建立同步数据的过程中,需要针对不同位置分别对数据进行检索和处理。

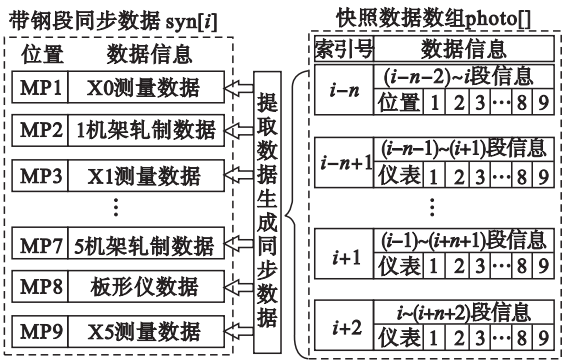


图 4 同步数据建立过程示意图
Fig. 4 Schematic diagram of synchronous data building

带钢段 i 的同步数据建立步骤如下。

步骤 1 将第 i 段快照数据 $photo[i]$ 中记录的末机架轧制长度 $L[i]$ 作为参考位置,计算该带钢段到达板形仪时刻末机架轧机的轧制长度:

$$L = L[i] + L_F.$$

式中: L 为带钢段 i 经过板形仪时末机架的轧制长度; $L[i]$ 为快照数据 $photo[i]$ 生成时末机架轧制长度; L_F 为末机架与板形仪之间的距离。

步骤 2 根据长度 L ,在快照数组 $photo[]$ 中查找带钢段到达板形仪时的快照数据索引号,需满足的条件为

$$L[j] < L < L[j + 1].$$

式中 $j, j + 1$ 为快照数据数组的索引。

步骤 3 为充分利用快照数据的信息,利用插值法对数据进行处理以获得同步数据。其中,插值公式中因子 β 的计算公式为

$$\beta = \frac{L - L[j]}{L[j + 1] - L[j]}.$$

通过线性插值方法计算带钢段在经过板形仪设备时的板形数据 $syn[i]$:

$$syn[i] = photo[j + 1]\beta + photo[j](1 - \beta).$$

式中: $syn[]$ 为同步段数据; $photo[]$ 为快照段数据。在对不同的参数进行同步时,表示为不同的轧制参数。

步骤 4 按照步骤 1 计算带钢段到达出口测厚仪时末机架的轧制长度,之后重复步骤 2 ~ 步骤 4,得到带钢段 i 在末机架出口测厚仪处的同步数据。

步骤 5 由于同步数据是以 5 机架作为参考位置,因此同步数据中第 5 机架的轧制数据即为快照数据 $photo[i]$ 中记录的 5 机架轧制数据。

步骤 6 建立带钢段在 4 机架的同步数据。

计算该带钢段在经过 4 机架时,第 4 机架的轧制长度:

$$L_4 = L_4[i] - L_{4,5}.$$

式中: L_4 为带钢段 i 经过 4 机架时,第 4 机架的轧制长度; $L_4[i]$ 为快照数据 $photo[i]$ 生成时 4 机架的轧制长度; $L_{4,5}$ 为 4 机架至 5 机架间的距离。

根据步骤 2,在快照数组 $photo[]$ 中查找记录 4 机架轧制数据的快照数据索引,需满足的条件为

$$L_4[j] < L_4 < L_4[j + 1].$$

依据步骤 3,利用差值法获得同步数据中的 4 机架轧制数据。

步骤 7 同理,根据步骤 6 可获得带钢段 i 在经过第 1 机架出入口测厚仪以及其他机架时相应的同步数据。

步骤 8 完成了带钢段 i 各位置的同步数据后,将这些数据存储在对应钢卷号的同步数据库中。当整个钢卷轧制完成后,整个轧制长度上的同步数据也随即完成。

3 现场应用

本文提出的建立冷连轧带钢段同步数据的方法已通过 C++ 语言编程实现,并将其作为控制系统的子模块应用在某 1450 mm 五机架冷连轧机组的过程控制系统中。建立的生产过程同步数据在过程监控中以趋势图的形式显示,当轧机或产品出现异常现象时,可对其前后的轧制过程数据进行回放。

图 5 和图 6 分别为该 1450 mm 冷连轧机组一段时间内实时采集数据和同步数据的趋势图,图中所示的 1 机架入口来料厚度波动是由于停车时酸洗段过酸洗造成的。通过比较图 5 和图 6 可以明显地看出,由于实时采集的数据为时间维度上的数据,随着轧制的进行,来料厚度波动的带钢段依次经过各测厚仪,实时采集的数据并不在同一长度坐标位置上;而同步数据趋势图描述的为成品带钢长度方向上的轧制信息,通过该趋势图可直观地分析来料厚度波动的带钢段在经过各测厚仪时的厚度变化过程,可为快速分析故障和异常现象提供依据。

设计开发的带钢段数据的同步方法自投入到该 1450 mm 冷连轧机组以来,控制系统运行稳定,为快速诊断生产故障、分析成品钢卷质量提供了支持。

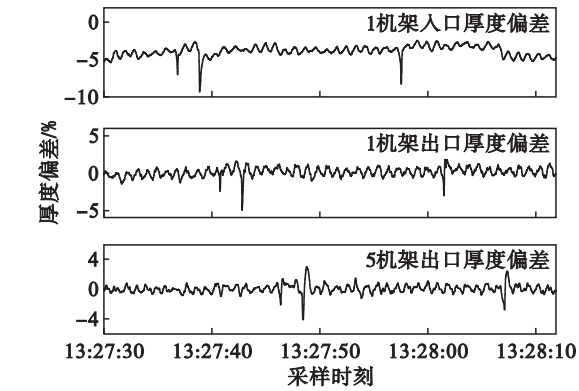


图 5 实时采集数据的趋势图
Fig. 5 Trend chart of real-time sampled data

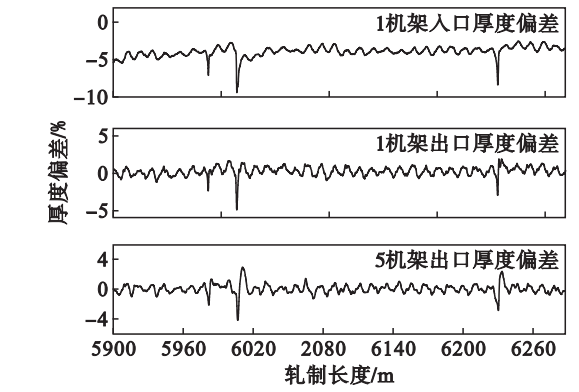


图 6 同步数据的趋势图
Fig. 6 Trend chart of synchronous data

4 结 论

1) 开发了一种冷连轧机带钢段同步数据的建立方法,主要包括快照数据采集和同步数据构建两个过程.通过该方法可以将带钢轧制过程中的实时采集数据映射到成品钢卷长度方向上,由此可查看每卷带钢在任意长度上的轧制信息.

2) 设计的带钢段同步数据构建方法已作为子模块嵌入到过程控制系统中,并成功应用在某 1450 mm 五机架冷连轧机组中.该模块自投入运行以来控制系统运行稳定,通过同步数据可快速诊断故障以及分析成品钢卷质量,为保障现场稳定快速生产提供了重要手段.

参考文献:

[1] Sena K, Matsuda S. Computer systems for controlling steel plants[J]. *Mitsubishi Electric ADVANCE*, 2000, 92 : 21 – 26.

[2] Pittner J, Simaan M A. Control of a continuous tandem cold metal rolling process [J]. *Control Engineering Practice*, 2008, 16 (11) : 1379 – 1390.

[3] Sekiguchi K, Sek Y, Olutani N. The advanced set-up and control system for Dofasco's tandem cold mill [J]. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 1996, 32 (3) : 608 – 616.

[4] 郭立伟, 杨荃. 冷连轧过程控制数据管理系统的研究[J]. 轧钢, 2006, 23 (6) : 48 – 51.

(Guo Li-wei, Yang Quan. Study on data management for tandem cold rolling process control [J]. *Steel Rolling*, 2006, 23 (6) : 48 – 51.)

[5] 侯永刚, 秦大伟, 费静, 等. 过程数据采集与分析系统在冷连轧机组中的应用[J]. 冶金自动化, 2012, 36 (4) : 47 – 50.

(Hou Yong-gang, Qin Da-wei, Fei Jing, et al. Application of automatic acquisition and analysis system of process data for tandem cold mill [J]. *Metallurgical Industry Automation*, 2012, 36 (4) : 47 – 50.)

[6] 李旭, 张殿华, 张浩, 等. 基于 CORUM™模型与多闭环的冷连轧自动控制系统[J]. 东北大学学报 (自然科学版), 2008, 29 (4) : 533 – 536.

(Li Xu, Zhang Dian-hua, Zhang Hao, et al. Automatic control system based on CORUM™ model and multiple closed loop for tandem cold mill [J]. *Journal of Northeastern University (Natural Science)*, 2008, 29 (4) : 533 – 536.)

[7] Wang J S, Jiang Z Y, Tieu A K, et al. Adaptive calculation of deformation resistance model of online process control in tandem cold mill [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2005, 162/163 : 585 – 590.

[8] Wang D D, Tieu A K, de Boer F G, et al. Toward a heuristic optimum design of rolling schedules for tandem cold rolling mills[J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2000, 13 (4) : 397 – 406.

[9] Kroner J S. Reliability-based approach to mill drive spindle maintenance[J]. *Iron and Steel Technology*, 2004, 12 (1) : 53 – 62.

[10] Kondou K, Kubo T. Estimation of rolling parameters by signal processing of measured data[J]. *Journal of the Iron and Steel Institute of Japan*, 2002, 88 (6) : 314 – 319.